

靜電集塵器運轉指引簡介

張瑞進* 王劍煌**

摘 要

靜電集塵器係粒狀物污染防治之有效設備，為促進國內靜電集塵器的操作人員對靜電集塵器的試運轉有進一步的認識，本文除列舉靜電集塵器之試運轉所應測試的項目外，並對其測試目的加以分類描述。每項的測試皆足以影響靜電集塵器的性能，因此運轉前良好的測試，勝於效率不彰時的診治。所以為了保持靜電集塵器有最佳的性能狀況，長期運轉前的檢測工作是必要的。本文中將以系統性介紹機械元件測試，電力元件測試和空載測試的目的，希望對於提昇國內空氣污染防治技術有所助益，並進而落實靜電集塵器本土化的效能。

壹、前 言

鑑於我國環保意識高漲，環保法規對固定空氣污染源排放之立法更趨嚴格；國內工業界紛紛採取增添新設備，及改善舊有防治設備等因應措施，以符合新的環保法規。同時，經濟發展迅速也造成勞工薪資上漲，唯有設備自動化方是解決之道；靜電集塵器挾其維修容易之優點，漸為國內業者在考慮一勞永逸的情況下所選擇之設備。

工業技術研究院能源與資源研究所承經濟部科技顧問室之資助，自七十八年開始進行靜電集塵器技術之本土化研究，並於七十八年九月完成了國內首座靜電集塵器實驗廠（ESP PILOT PLANT）之建造與試車，為國內環保工業技術的本土化，向前邁進了一大步。

在過去一年中，工研院能資所經與國外靜電集器專家討論研究，及對本廠之探討，對於新購靜電集塵器或維修後再運轉，所需施行的測試，完成了“靜電集塵器運轉指引”，以利於我們工業界對於靜電集塵器運轉時之參考。本文針對靜電集塵器於開車運轉前，所應做的一些檢測項目及目的，加以說明。（由於內容篇幅有限，有關檢測方法和調整程序的詳細內容，請參閱工研院能資所靜電集塵器專案研究計畫印製的“靜電集塵器運轉指引”）以利於國內靜電集塵器的使用者，得以參酌利用，以提升國內靜電集塵器之操作維修能力。

* 工研院能資所副主任研究員

**工研院能資所 助理研究員

本文共分為三部份即：

1. 機械元件測試 (Mechanical Component Test)
2. 電力元件測試 (Electrical Component Test)
3. 空載測試 (Air Load Test)

分別討論靜電集塵器在運轉前的檢測項目和目的，由這些測試中了解設備的實際狀況，以便及時的著手改善，避免運轉中發生故障而被迫停車檢修。而靜電集塵器試運轉時，特別應該注意三個原則，亦即是：

1. 安全性——包含人員安全和設備安全。
2. 運轉性——即各設備是否能正常運轉。
3. 可靠性——即對於各設備的輸出信號是否可信？

把握了這三個原則，相信對於靜電集塵器的試運轉當可駕輕就熟。

工研院能資所對於靜電集塵器的研究將推出一系列的研究報告，包括“靜電集塵器的規劃與研究方向”〔註 1〕，“靜電集塵器設計與功能”〔註 2〕，“靜電集塵器運轉指引”〔註 3〕，“靜電集塵器的工業安全與衛生”〔註 4〕，“靜電集塵器的維修指引”〔註 5〕，“靜電集塵器的效率測試”〔註 6〕等報告，期望這一系列的推出可促進國內工業界及操作人員，對於靜電集塵器能有深一層認識；而進一步將累積之經驗，便於在國內作技術轉移，以達到靜電集塵技術本土化的目的。

貳、機械元件 (Mechanical Component)

靜電集塵器的機械元件測試項目，大體上如表一所列。以下就各項之測試目的加以說明：

〔註 1〕：請參閱“工研院能資所靜電集塵實驗廠之規劃與研究方向”——78年9月份工業污染防治月刊。張瑞進，王劍煌。

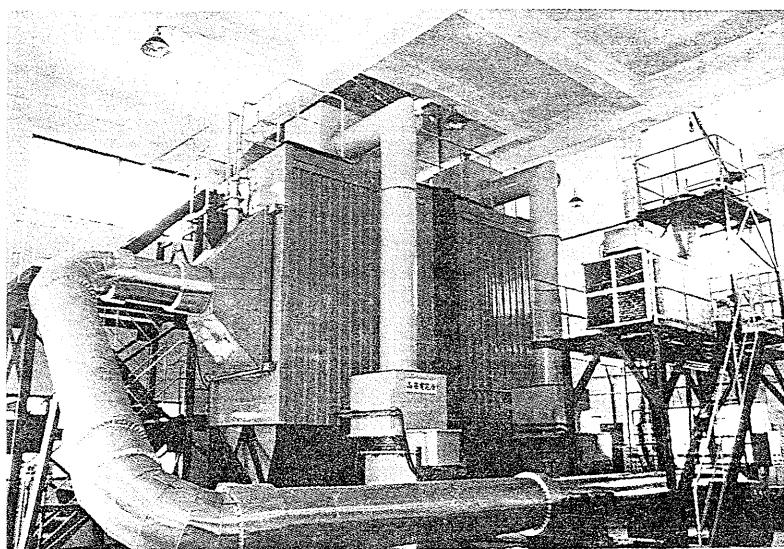
〔註 2〕：請參閱“MULTIFUNCTIONAL DESIGN OF ITRI PILOT ELECTROSTATIC PRECIPITATOR”——78年第六屆空氣污染控制技術論文集，張瑞進，祝經益，王劍煌，連永昌。

〔註 3〕：請參閱“工研院能資所靜電集塵器專案計畫印製之“靜電集塵器運轉指引”78年9月，張瑞進，王劍煌。

〔註 4〕：請參閱“工研院能資所靜電集塵器專案計畫印製之”靜電集塵器的工業安全與衛生”78年11月，王劍煌，張瑞進，連永昌。

〔註 5〕：即將推出。

〔註 6〕：即將推出。



圖一 國內首座靜電集塵實驗廠

靜電集塵器的機械元件測試項目，大體上如表(一)所列。以下就各項之測試目的加以說明

表一 機械元件測試項目

- (一) 靜電集塵器本體水平檢測
- (二) 靜電集塵器極板的導板檢測
- (三) 極板與極線之調整
- (四) 敲擊器之測試與調整
- (五) 脚架熱膨脹孔之檢測與調整
- (六) 螺旋輸灰器及旋轉閥 (Rotary Valve) 之檢測
- (七) 導流板氣流分佈檢測
- (八) 空氣吹除風扇 (Air Purge fan) 及空氣加熱器 (Air Purge heater) 之檢測
- (九) 灰斗加熱器及溫度感測器之檢測
- (十) 風車測試
- (十一) 保溫測試
- (十二) 出灰系統測試

(一) 靜電集塵器(E.S.P.)本體水平測試

任何機械設備水平之維持都相當的重要。而靜電集塵器本體之水平也因關係到極板、極線之垂直及對心(Alignment)問題，所以在本體安裝之同時就必需做水平之測試。

(二) 靜電集塵器極板導板(Guide plate)檢測

爲了避免建造完成之靜電集塵器的每一個段(section)呈扭斜的狀況，此將因極板擺放不垂直而影響了極板和極線的對心(alignment)以及板間距差值，因此必須做此項測試。

(三) 極板與極線之調整

電極線的對心與垂直，對於電場之分佈有著極大之影響，同時集板和極線的距離，亦影響兩側電位的不同，使得塵粒之荷電產生不同的結果，對於集塵效率有極大之影響。同時，若極板上螺栓至極線之距離小於極板和極線的距離，將會發生尖端火花放電，爲避免這些不良的現象，必須做檢測與調整的工作。如圖二示。

(四) 敲擊器之測試與調整

靜電集塵器的敲擊器有許多種類，本文係針對電磁式敲擊器之測試與調整做一番介紹。

敲擊器的測試分爲二大類，第一是敲擊器之控制器測試，此測試係針對敲擊控制器之敲擊方向(Mounting Direction)和敲擊強度(Magnitude)的大小來選擇最佳化之敲擊曲線如圖三示，以使敲擊器之電磁力達到最適化。第二種則是敲擊力分析，此測試目的則在於測知究竟當極板、極線或導流板(Distributor)受敲擊器敲擊時其加速G值的分佈情形。

(五) 熱膨脹孔之檢測與調整

對靜電集塵器本身而言雖然所承受的溫度，不一定很高，但爲了本體的安全，熱膨脹孔的考慮仍是必要的，此膨脹孔可允許靜電集塵器本體受熱時，提供伸縮餘隙而不致於因熱膨脹而扭曲變形。

(六) 螺旋輸灰器及旋轉閥之檢測

螺旋輸灰器(Screw Conveyor)和旋轉閥(Rotary Valve)的檢測，是爲了確保出灰系統的運轉方向正確性以及內部連鎖之操作安全性而做的測試。

(七) 靜電集塵器導流板(Distributor)氣流分佈檢測

導流板氣流分佈檢測的目的，係在觀察導流板實際之功能是否能使煙道氣達到均勻分佈的目的。一般來說，氣流在進入導流板之前係爲一大型亂流，經過分流板後形成大數目的亂流，小型的亂流逐漸合併或衰減，簡言之，導流板的目的，係使大規模連續性的亂流變成小規模之亂流。

(八) 空氣吹除風扇(Air Purge fan)及空氣加熱器(Air Purge Heater)檢測

一空氣吹除風扇(Air purge fan)之檢測主要有流速和流量測試，由於空氣吹除風扇(Air purge fan)的主要目的是爲了和空氣加熱器(Airpurge Heater)保持平衡，使不致於過熱，也不能太冷，同時空氣吹除風扇(Air purgefand)之流量亦影響了靜電集塵器本體的流量，可能造成靜電集塵器之溫差太大，故必須加以控制。

二空氣加熱器 (Air purge heater) 主要目的是為使礮子得以保持等溫，防止溫度降至露點以下，保持礮子絕緣特性。

(九)灰斗加熱器 (Hopper Heater) 及溫度感測器 (Thermocouple) 檢測

灰斗加熱器 (Hopper Heater) 主要測試在於檢驗其操作性，並藉著灰斗溫度感測器 (Hopper Thermocouple) 來檢測灰斗加熱器 (Hopper Heater) 的實際溫度，同時藉由溫度控制器設定溫度，以達到灰斗溫度控制的目的。如果灰斗溫度太高，則控制器將灰斗加熱器電源切斷，以確保灰斗內的溫度。

(十)風車之測試

(1)動平衡測試

動平衡測試，係利用動平衡機，將風車葉片放置於其上，利用電腦測出雙邊之平衡度，由螢幕顯示不平衡點之角度及不平衡量，視其增量或減量，而加以磨除或焊補，動平衡機上有角度可查知。

(2)風車之震動測試

利用震動儀 (Vibrometer)，來測定風車外部之震動度。由錶上可直接讀出數值。測試目的是為了確定風車的震動度大小是否合乎規定。

(3)靜動壓測試

靜動壓測試的目的，係為了檢測風車的壓力是否能符合規範要求。測試的方法係利用皮托管 (Pitot Tube) 於風車出口處加裝一風管，將皮托管 (Pitot Tube) 插入風管中，一端係全壓值，一端為靜壓值，則測得之差值等於動壓值。

(十一)保溫測試

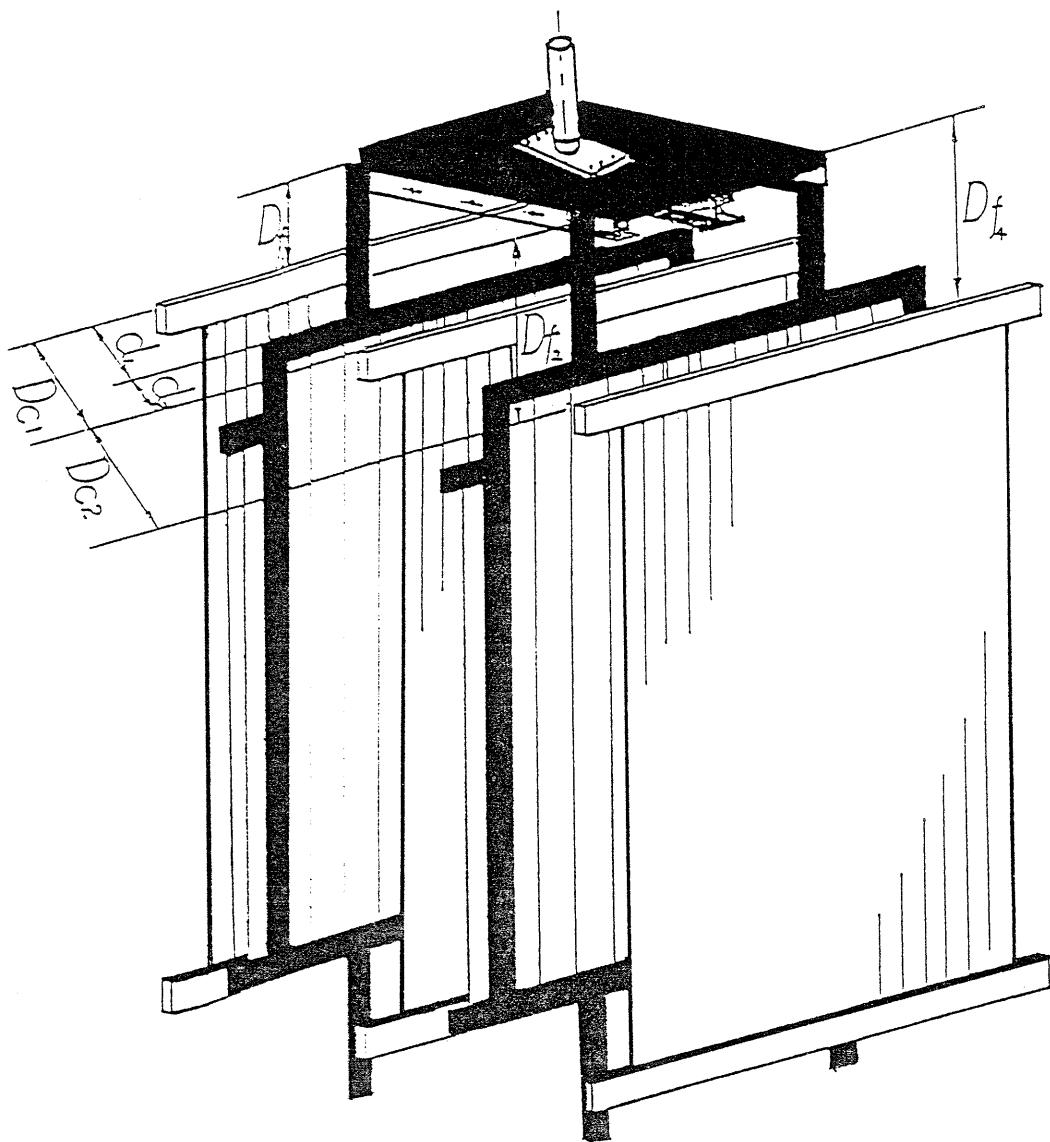
為防止靜電集塵器內部熱量外傳，造成進出口的溫度差太大，而影響集塵效率，所以做靜電集塵器本體各處之溫度測試，以確定實際溫度分佈情況。

(十二)出灰系統 (Load Cell) 測試

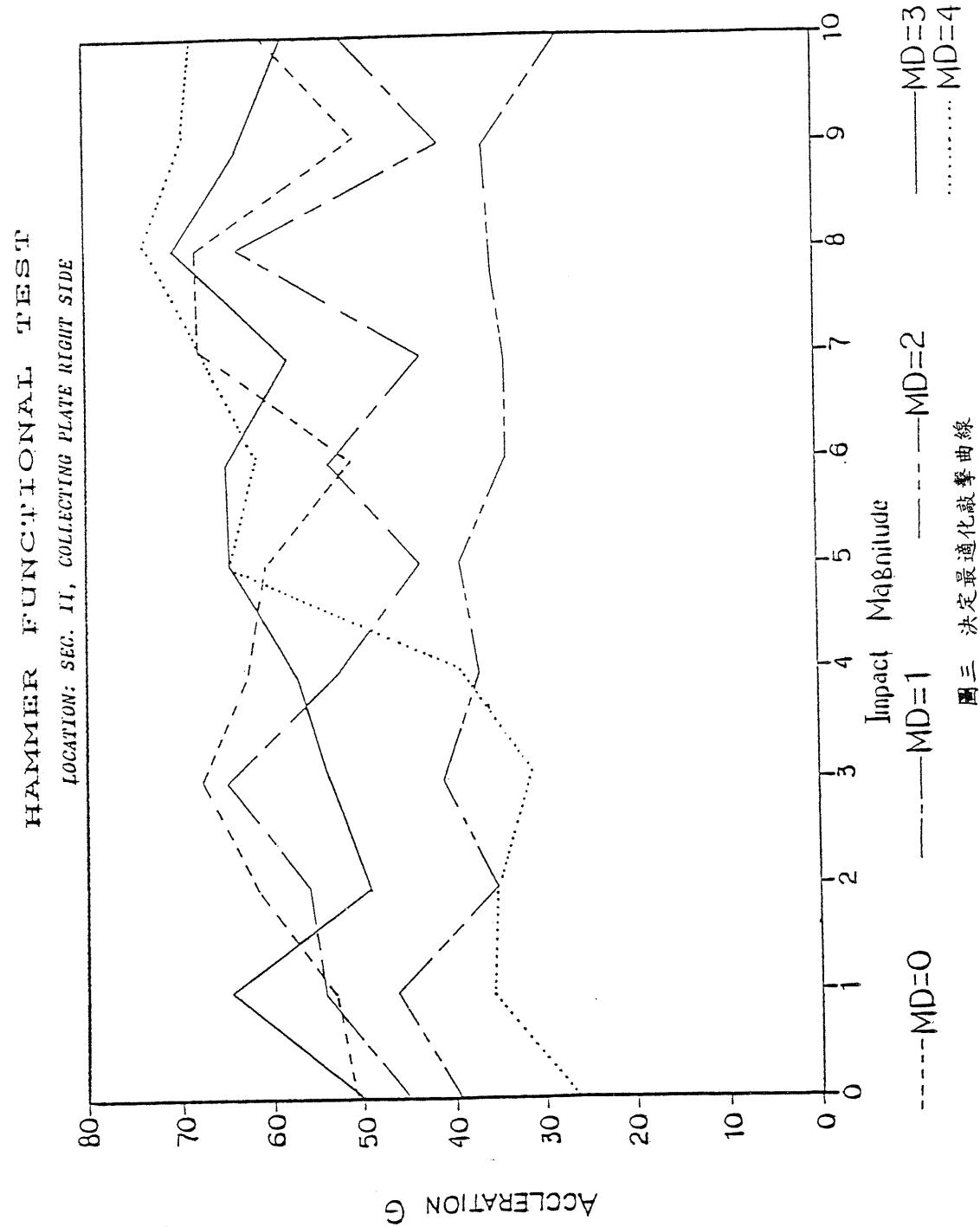
一般工廠的出灰系統有多種型式，而 (Load Cell) 方式的出灰系統係根據出灰桶的容量來設定出灰量的大小，當出灰量達到設定值時，內部連鎖 (inter-lock) 系統，將切斷螺旋輸灰器 (Screw Conveyor) 及旋轉閥 (Rotary Valve) 之運轉以防止出灰桶過載。測試的項目和目的有二：

(1)校正稱盤的水平。

(2)Load Cell 測試的目的在於確定出灰量的精確度，因此試運轉前必須對稱灰裝置施以法碼校正。



圖二 極板、極線及線框之測試與調整



叁、電力元件(Electrical Component)測試

靜電集塵器之電力元件測試項目，如表(二)所列，並就各項目之測試目的加以說明如次：

表二 電力元件測試項目

(一)接線測試
(二)各設備之電阻及接地檢測
(三)系統之接地檢測
(四)雜訊預防
(五)變壓整流器之絕緣電阻測試(T/R set Megger Test)
(六)電力測試(Power Test)
(七)敲擊器可程式(PLC)測試
(八)控制面盤測試(PC Board panel Test)
(九)閾歇性供電檢測(I.E.)
(十)電壓、電流錶及信號轉換器之校正
(十一)警報及內遂連鎖測試
(十二)不透光計(opacity meter)之校正

(一)接線測試

接線測試的目的，在確定各個控制盤面(control panel)及設備間的電力接線正確，亦即確保機件之電力傳輸沒有問題，同時若是三相的轉動機械，對於三相三線之接法亦需檢查，以免轉動方向有誤影響操作與安全。

(二)各設備之電阻及接地檢測

(1)各設備之電阻：量測各設備之電阻可確定各設備，在未使用前之電阻值，當使用一段時間後，其值的變化如何，我們可據以判斷此設備目前的大致情況。

(2)接地檢測：為確保系統使用之安全，必要將各控制盤面及設備予以接地。同時其測試值必須符合標準。

(3)絕緣測試：為防止絕緣破壞而發生危險之測試。

(三)系統接地測試

各設備接地後，加以串連接至空地，利用銅網或銅棒打入於地下層，並將各銅棒以銅線接連，測其電阻需小於 10Ω 以下方為合格。

(四)雜訊預防

在電力設備上，尤其是具有傳輸訊息的信號線，為防止感測器(sensor)本身以及外部雜訊的干擾，而使信號失真，必須事先對這些干擾雜訊予以有效去除尤其動力線與信號線務

必分開，如此各種錶顯示之數值，方有參考之價值。

(五)變壓整流器之絕緣測試 (Megger Test)：T/R Set 硝子與極板間之電阻

變壓整流器之絕緣測試於每次開車前必須加以測試，其目的係為了操作安全，並防止因絕緣破壞而導致的意外危險。

(六)電力測試 (Power Test)：電壓、電流、電功率、功因，KVA 測試

電力測試 (Power Test) 的測試諸項目，係為了瞭解各設備之實際電力情況，是否與規格相符合，以及使用一段時間後，是否有電力衰減的情況發生。

(七)可程式控制器 (Programmable Logical Controller, PLC) 程式檢測

可程式控制器程式 (PLC program) 可寫成各種不同的控制方式用來控制設備之運作。

本測試以敲擊器之控制系統為例。為了獲得正確的控制敲擊次序，必需對PLC之步序加以檢測。

(八)控制盤面 (PC Board Panel) 測試

(1)電壓降和回復率之檢測：當火花 (spark) 發生時其電壓降 (ΔV) 和回復率 (θ) 數值，可以改變。因此可藉以調整其值，以改善火花現象。

(2)火花模擬 (Spark Simulation)：在控制盤面上之火花模擬鈕可以模擬火花之發生，此時電壓和電流錶之數值，將隨之發生變化，可知當發生火花的時候對於電壓和電流的影響。

(九)間歇性供電 (Intermittent Energization, I.E.) 檢測

I.E. 供電與連續供電不同。I.E. 係利用荷電 (Charge) 和休止 (Pause) 的時間不同比例來達到省能的目的。測試時可調整不同的荷電時間 (Charge time) 和休止時間 (Pause time) 看其電壓電流曲線 (V - I) 的變化。

• I.E. 供電的目的

- 1.省能運轉。
- 2.逆電量的防止 (Back Corona)。
- 3.正常運轉時，集塵性能的提升。

(十)電錶 (Meter)，記錄器 (Recorder)，轉換器 (Converter) 之校正

本測試之目的在於確定由各種錶所顯示獲得的信號訊息是否正確無誤，並瞭解測試中含有多少的誤差值存在。

(十一)警報及內部連鎖測試

為防止設備發生故障時警報失靈或具有相互連鎖的內部電路能確保動作，以免發生危險，必需做此測試。

(十二)不透光計 (Opacity meter) 校正

其監測原理係利用光之穿透與反射性質，可自動作零點校正，校正程序如下：

(1)現場安裝完畢後，作電源規格檢查。

- (2) 調整光源部與反射部之相關位置、角度。
- (3) 調整 0 % 及 100 % 之不透光率。
- (4) 檢測自動校正週期及 Span。
- (5) 調整系統反應時間 (System Response time)。
- (6) 設定警報起始點。
- (7) 檢查校正之結果是否良好。

肆、空載測試 (Air Load Test)

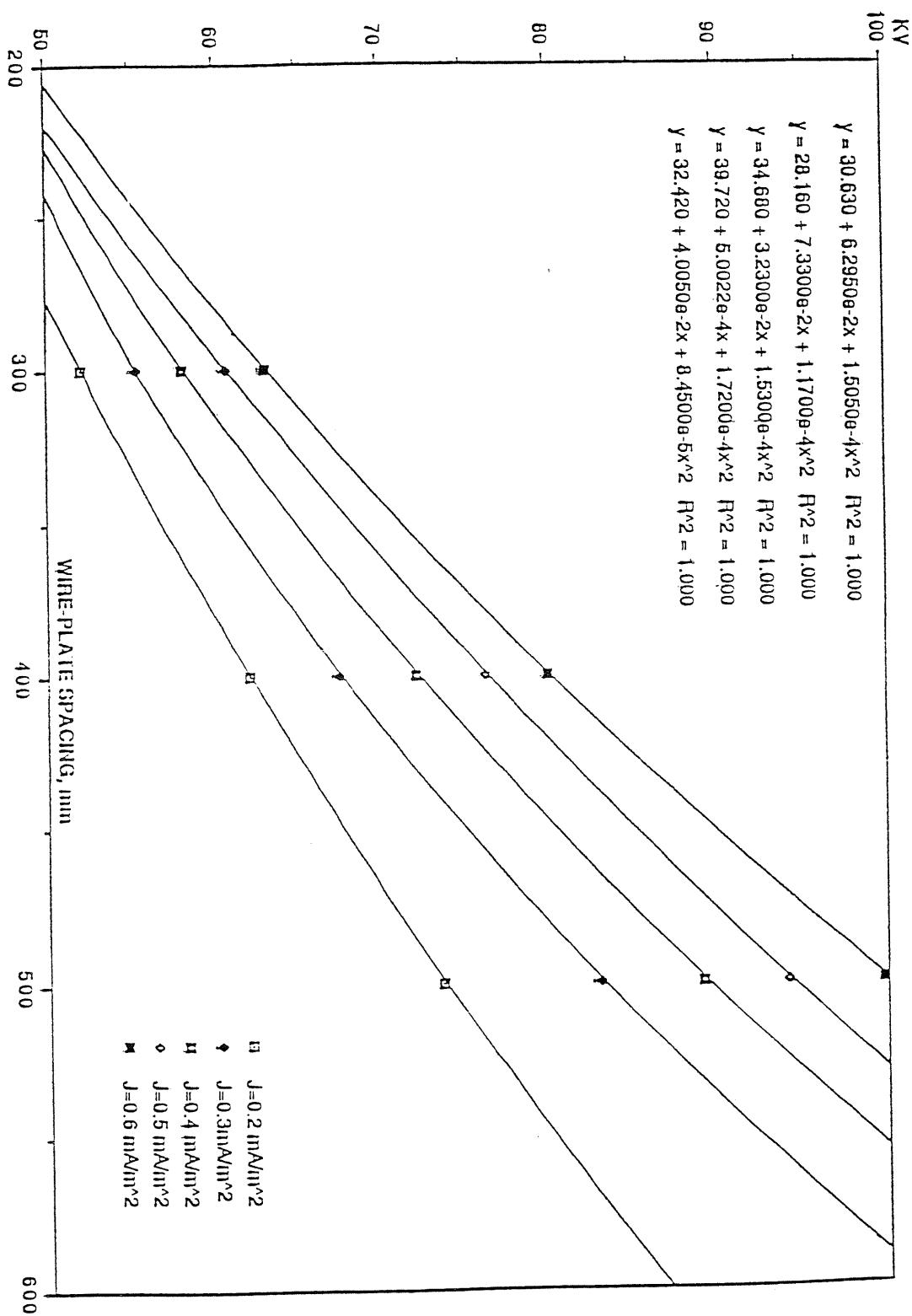
(一) 測試目的

當您對靜電集塵器整個系統的各個元件測試完成後，接下來必需做的測試是開啓風車，將靜電集塵器送電，啟動變壓整流器，然後由電壓和電流錶上來觀測 V - I 的變化。做這測試的目的是為了提供靜電集塵器在操作一段時間後電壓 - 電流曲線 (V - I Curve) 的變化比較用，可以由此 V - I Curve 的變化，找出靜電集塵器究竟有那些可能的性能改變，例如效率降低的原因等等，因此做空載測試 (Air Load Test) 是一項非常重要的工作。

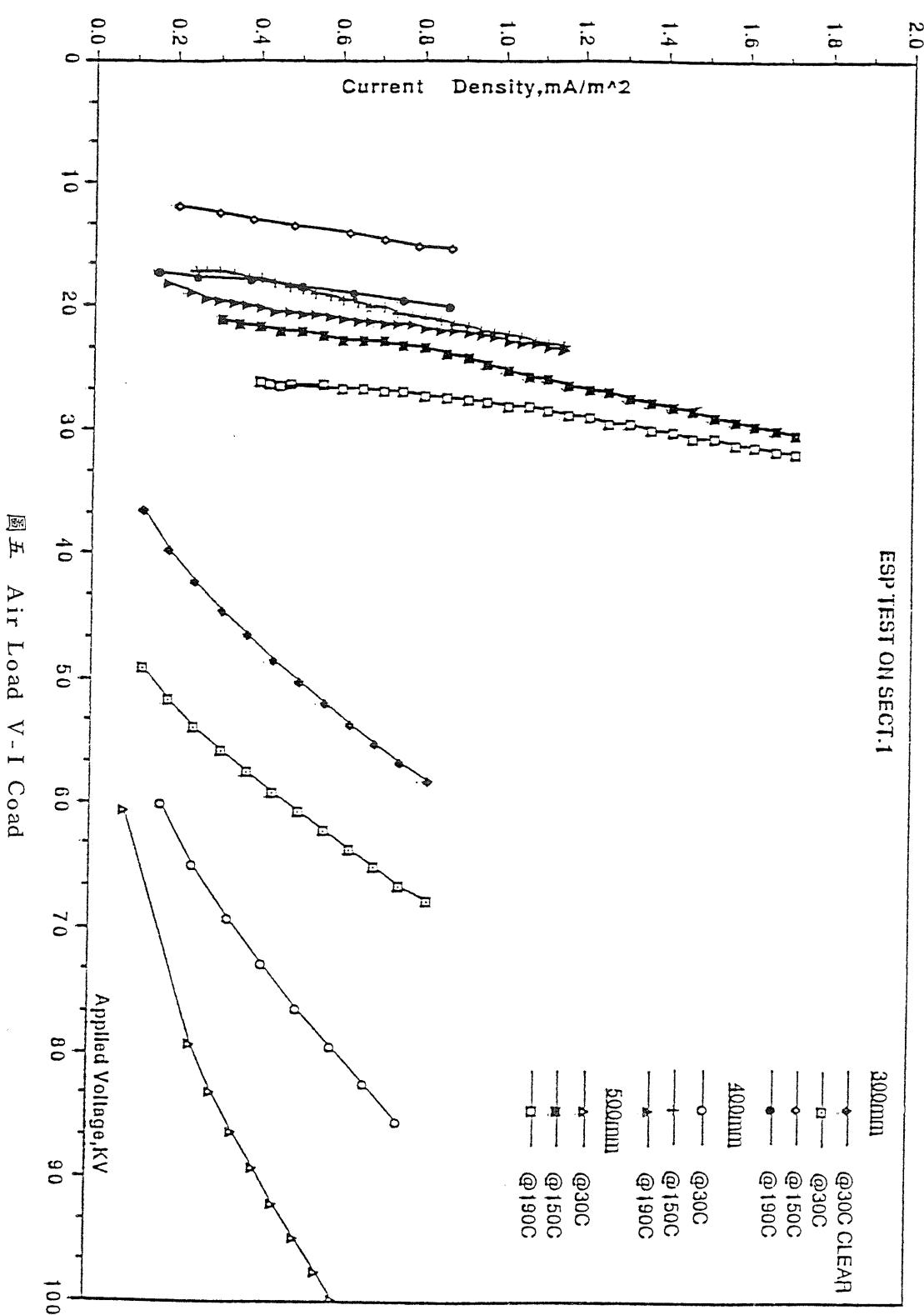
(二) 測試方法

- (1) 首先將主電源 (power source) 送電，然後啟動風車，在靜電集塵器變壓整流器上將接地桿 (earth) 扳至通電位置 (open)，為了安全起見，必需在外面上鎖，之後就可在靜電集塵器的控制盤面上將電源送電 (Charge ON)。
- (2) 電經由 200 V 之電壓經變壓整流器後變成幾萬伏特的高電壓，您可在靜電集塵器控制盤面 (E.S.P. Control panel) 上的電壓和電流錶上觀測這些值。
- (3) 調整電壓或電流調整鈕由 0 ~ Max，並記錄兩者的關係值，如果有 PC (個人電腦)，可用 Lotus 1-2-3 或其他可供繪製圖形的軟體，將 V - I Curve 畫出來，當然可以選擇 X 軸為電壓或 Y 軸為電壓軸。
- (4) 如果能確定靜電集塵器的比集塵面積 (SCA)，則可將電流轉化為電流密度 (Current Density) 亦即每單位米平方的電流 (mA)，再與電壓值繪出曲線。目前以此種曲線表示者較多。

圖四～圖五係一典型 E.S.P. 的 Air Load 在不同溫度下及不同板間距，所表現來的特性曲線。



圖四 Air Load V-I Curve



圖五 Air Load V-I Load

伍、結論

靜電集塵器的主要功能，係藉供給有效的電暈電流和適當的電壓波形，達到穩定且有效地收集廢氣中的塵粒。本文所介紹靜電集塵器各項性能測試，其主要目的是為了達成性能保證的要求，並建立起良好的原始數據供維修參考用。因此若能對靜電集塵器基本原理徹底瞭解，方能提高測試的品質，同時具有正確的性能測試方法，方能節省不必要的維修費用。

靜電集塵器的機械性能，諸如機械原理，不良的電極對心，電暈極線的晃動(Swing)，集塵板的變形，集塵積灰的厚度，灰斗的溢出或飛灰的再逸散；甚至於空氣的滲入等在在都影響了集塵效率。而電氣操作上，不適當的電氣設定值、過負荷的運轉，不良的電力控制，失效的儀器監測等，也將使靜電集塵器的性能提升更加困難。諸多的問題，如果能預先予以有效地檢查和測試，必能即時防止靜電集塵器性能低落。

本文係以拋磚引玉的態度開啓國內靜電集塵器操作的經驗指引。為使靜電集塵技術能在國內生根，希望國內靜電集塵器的使用業者及學術研究專家，能隨時提供各位的經驗，期使我國在靜電集塵技術的發展上能快速成熟，並促使靜電集塵器本土化能早日實現。